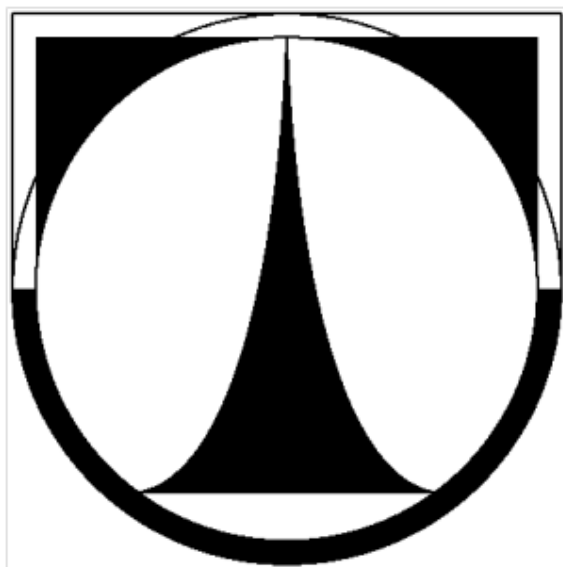


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Martin Dostál

**Ověření funkčnosti postprocesoru pro obráběcí centrum  
Mazak Integrex**

Bakalářská práce

2013

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Výrobní systémy

Zaměření: Výrobní systémy

## **Ověření funkčnosti postprocesoru pro obráběcí centrum Mazak Integrex**

## **Functional verification postprocessor for Mazak Integrex**

KVS-VS-77

Martin Dostál

Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, PhD.

|                      |    |
|----------------------|----|
| Počet stran:         | 40 |
| Počet příloh:        | 4  |
| Počet obrázků:       | 25 |
| Počet tabulek:       | 15 |
| Počet grafů:         | 2  |
| Počet modelů:        | 1  |
| Počet jiných příloh: | 0  |

V Liberci dne: 2.12.2012

Bakalářská práce KVS-VS-77

**TÉMA: Ověření funkčnosti postprocesoru pro obráběcí centrum Mazak Integrex**

ANOTACE: Cílem bakalářské práce je řešení problému s postprocesorem při výrobě tvarově složitě součástí na stroji MAZAK INTEGREGX 100-IV. Nedílnou součástí je také ekonomický dopad na vícenáklady spojené s dodatečnými úpravami postprocesoru a případnou kolizí stroje.

**THEME: Functional verification postprocessor for Mazak Integrex**

ANNOTATION: The aim of this bachelor work is to solve the problem with postprocessor in the production shape-complicated components on the machine MAZAK INTEGREGX 100-IV. Is also an integral part of the economic effect for additional costs associated with additional modifications of postprocessor and possible collisions with machine.

Klíčová slova: SolidWorks, EdgeCAM, Tvarově složitá součást, Mazak INTEGREGX 100-IV, Postprocessor

Zpracovatel: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní,

Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2.12.2012

Archivní označení zprávy:

|                      |    |
|----------------------|----|
| Počet stran:         | 40 |
| Počet příloh:        | 4  |
| Počet obrázků        | 28 |
| Počet tabulek:       | 15 |
| Počet grafů:         | 2  |
| Počet modelů:        | 0  |
| Počet jiných příloh: | 0  |

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 2.12.2012

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Kellerovi PhD. za skvělou spolupráci, odborné vedení a věcné připomínky, které byly pro mě obrovským přínosem.

# OBSAH

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod .....   | 8  |
| 1.1   | CAD/CAM systémy .....                              | 8  |
| 1.2   | Cíl práce .....                                    | 8  |
| 1.3   | SolidWorks .....                                   | 9  |
| 1.4   | EdgeCAM .....                                      | 9  |
| 1.5   | Stroj .....  | 10 |
| 2     | Vytvoření modelu .....                             | 11 |
| 2.1   | Výběr strojní součásti .....                       | 11 |
| 2.2   | Detailní tvorba modelu .....                       | 12 |
| 3     | Produkce obráběcího procesu .....                  | 13 |
| 3.1   | Polohování modelu .....                            | 13 |
| 3.1.1 | Polotovar .....                                    | 13 |
| 3.2   | Tvorba obráběcího programu – Strana první .....    | 13 |
| 3.2.1 | Soustružení .....                                  | 14 |
| 3.2.2 | Vrtání hlavně .....                                | 15 |
| 3.2.3 | Frézování tvaru hrubováním .....                   | 17 |
| 3.2.4 | Dokončovací operace strany 3 .....                 | 18 |
| 3.2.5 | Dokončovací operace strany 4 .....                 | 19 |
| 3.2.6 | Upíchnutí polotovaru .....                         | 20 |
| 3.2.7 | Měření polohování obrobku .....                    | 21 |
| 3.3   | Tvorba obráběcího programu – Strana druhá .....    | 22 |
| 3.3.1 | Ustavení hlavně do referenční polohy .....         | 22 |
| 3.3.2 | Dokončovací operace čelo .....                     | 22 |
| 3.3.3 | Dokončovací operace vrtání a hloubení otvoru ..... | 23 |
| 3.3.4 | Dokončovací operace šikmá půlkulatá plocha .....   | 24 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.3.5 | Dokončovací operace strany jedna – drážka ..... | 25 |
| 3.4   | Simulace obrábění.....                          | 26 |
| 4     | Výroba součástí .....                           | 27 |
| 4.1   | Úvod .....                                      | 27 |
| 4.2   | astavení stroje .....                           | 27 |
| 4.3   | Výroba součástí .....                           | 28 |
| 4.4   | Kontrola součástí .....                         | 29 |
| 5     | Postprocesor .....                              | 30 |
| 5.1   | Chyby v postprocesoru.....                      | 30 |
| 5.2   | Chybové hlášení a jeho řešení .....             | 30 |
| 6     | Ekonomický dopad .....                          | 34 |
| 6.1   | Úvod .....                                      | 34 |
| 6.2   | Odstraňování chyb obsluhou.....                 | 34 |
| 6.3   | Servisní zásah .....                            | 35 |
| 7     | Závěr .....                                     | 38 |
| 8     | Literatura .....                                | 39 |
| 9     | Přílohy .....                                   | 40 |

# 1 Úvod

## 1.1 CAD/CAM systémy

**CAD/CAM - Computer-Aided design / computer-Aided manufacturing**, jsou počítačové systémy použité pro návrh a výrobu součástí nejen strojního charakteru. Termín CAD / CAM znamená, že programátor používá systém jak pro navrhování součástek a také pro řízení výrobních procesů. [2]

**CAD - Computer Aided Design** (systém sloužící k zpracování návrhu a designu nového nebo inovovaného produktu) poskytují data a technologické řešení návrhu geometrie a rozměru výrobku. Elektronický vyjádření výrobku může být realizováno jednak jako 2D výkresová dokumentace, nebo jako 3D model složený ze známých objemových a plošných charakteristik.[2]

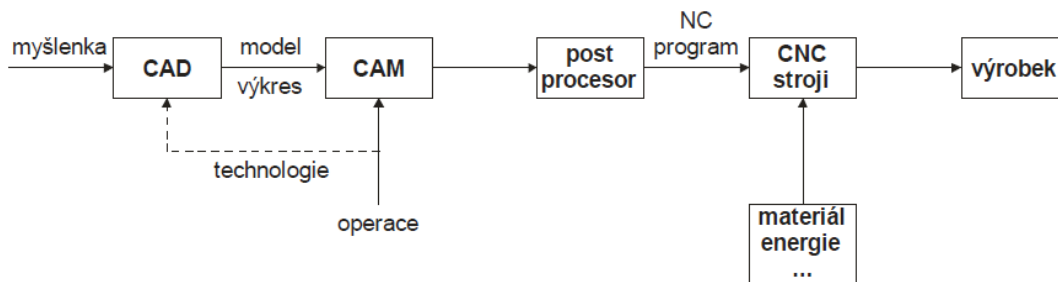
**CAM - Computer Aided Manufacturing** (počítačová podpora výroby) poskytují nástroje na řešení technologických operací na obráběcích, a jiných strojích za pomoci řídicího kódu. Geometrie součásti pro návrh technologického řešení bývá obvykle převzata z CAD systémů. Tato oblast souvisí a navazuje s problematikou CNC (Computer Numeric Control) strojů a DNC (Distributed Numeric Control) produkčních sítí.[2]

## 1.2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je doladit nepřesnosti a odstranit chyby ve stávajícím postprocesoru tak, aby generování kódu NC programu bylo správné pro obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV. Pro tento úkol byla zvolena složitě tvarová součást, na které by mělo být odhaleno několik chyb v postprocesoru. Výsledky řešené bakalářské práce jsou určeny k využití pro výuku a výzkumné práce v laboratoři KVS.

Součástí práce je také ukázka ekonomického dopadu z pohledu praxe na činnosti svázané s odstraňováním chyb postprocesoru. Jak bude v práci blíže ukázáno tak nalezené problémy mají svá řešení, ale nesou s sebou určitá finanční zatížení. Z toho důvodu je velmi důležité se věnovat problémům pečlivě a zodpovědně.





Obrázek 1 - postup tvorby výrobku [5]

### 1.3 SolidWorks

Pod pojmem Solidworks se většině lidí vybaví 3D konstrukční SW MCAD. Solidworks však umožňuje také simulovat jednotlivé výrobní kroky a tím odhalit případné chyby před odesláním návrhů do výroby. [1]

Součástí Solidworksu je také program „3DVIA Composer“, který dokáže synchronizovat dokumentaci se změnami návrhu a zároveň umožňuje dosáhnout nižších nákladů. [1]

Další užitečná součást je (PDM) - software pro správu produktových dat. Díky tomuto řešení lze efektivně uchovávat data a automatická kontrola verzí zajistí, aby všichni pracovali s aktuální projektovou dokumentací. [1]

### 1.4 EdgeCAM

Tato práce byla tvořena v studentské verzi programu EdgeCAM.

EdgeCam je CAM systém, který umožňuje programovat všechny způsoby obrábění a jejich kombinace. Díky uživatelsky příjemnému prostředí a intuitivnímu ovládání, lze dosáhnout vynikajících výsledků v relativně krátké době. [4]

EdgeCam disponuje kompletním rozsahem 2 - 5 osých frézovacích operací, s podporou pro soustružení a soustružnicko-frézovací centra. Ve spolupráci s CAD integrací a automatickými nástroji, je EdgeCam jediný CAM software který řeší jak produkční obrábění tak forem a tvarů. [4]

Edgecam byl konstruován tak, aby bylo možné programovat jednak jednoduché součásti, ale také velmi složité celky. Díky jeho integritě, systém nabízí plnou podporu i pro poslední verze CAD systémů, obráběcích strojů a nástrojů. [4]

## 1.5 Stroj

Advanced multi-tasking with Integrex ® poskytuje maximální všestrannost a komplexnost všech vyráběných součástí. [3]

Integrex ® je propojením výkonného soustružnického centra s plně funkčním obráběcím centrem na výrobu součástí na jedno upnutí. Eliminuje duplicitu nastavení jednotlivých příslušenství, nářadí, manipulační a čekací doby a tím se efektivně podílí na šetření výrobních nákladů. Kromě toho, „Done-In-One“ obrábění přináší dramatické snížení doby na přípravu a tím se prudce zvýší efektivita celého procesu. Díky způsobu obrábění „Done-In-One“ je také zvýšena přesnost vyráběného dílu a to tím, že bylo odstraněno vícenásobné ustavování. [3]

Integrex ® umožňuje kontinuální obrábění na 5-osém CNC řízením, a tím dokáže být konkurenceschopný při výrobě jakékoliv součásti. S tímto jedním strojem, můžou být obráběny jak kulaté součásti, tak velmi složité odlitky používané například v leteckém průmyslu. [3]



Obrázek 2 - stroj MAZAK INTEGREX 100-IV



## 2.2 Detailní tvorba modelu

Za pomoci CAD systému SolidWorks a výše uvedených specifikací byl zhotoven model hlavně, z čehož bylo vycházeno pro výrobu samotného programu.

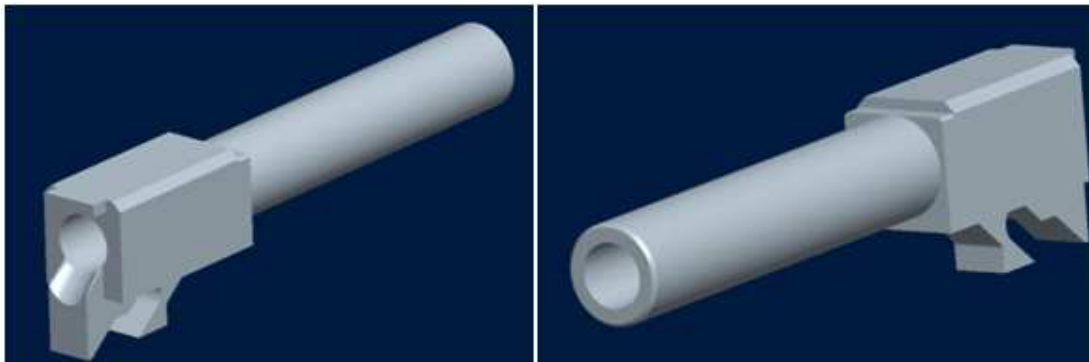
Vzhledem k charakteru výrobku, je jasné patrné, že budeme dále popisovat součást celku ruční palné zbraně. Z tohoto důvodu byly rozměry i některé funkční prvky elementárně upraveny.

Klíčové úpravy byly konstrukčně provedeny na hlavní 9mm a vnitřním vývrtu.

Pro náš celkový efekt bylo postačující vytvoření slepých otvorů bez již citovaného vývrtu.

Tímto konstrukčním řešením bylo umožněno rozdělit výrobu součásti na dvě samostatné výrobní fáze a tím ještě detailněji ukázat další možnosti obrábění a možnou manipulaci s výrobkem. Velká priorita je kladena na odměřování a polohování součástí.

Úspěšně byl dokončen 3D model, který přesně kopíroval originální součást, ale díky již výše citovaným úpravám byl a stále zůstává nepoužitelný tzn. nefunkční.

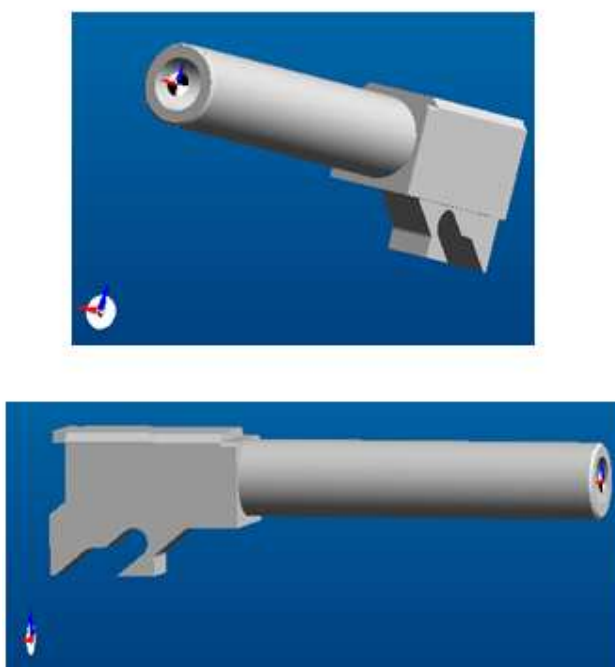


Obrázek 5 - Finální 3D model hlavně CZ 75 P-07 Duty

## 3 Produkce obráběcího procesu

### 3.1 Polohování modelu

Po importu 3D modelu s koncovkou souboru \*.stp, bylo nutno zvolit souřadný systém a ustavit model vůči počátku. Na obrázku č. 6 je počátek určen jako referenční bod „W“. Tento bod byl centrován v ose obrábění součásti proto, že jeho hlavní část je v podstatě rotační součást (hlaveň). Proto bylo nutno použít funkci „Polohovat pro soustružení“ v menu MODEL.



Obrázek 6 - Ustavení modelu

#### 3.1.1 Polotovár

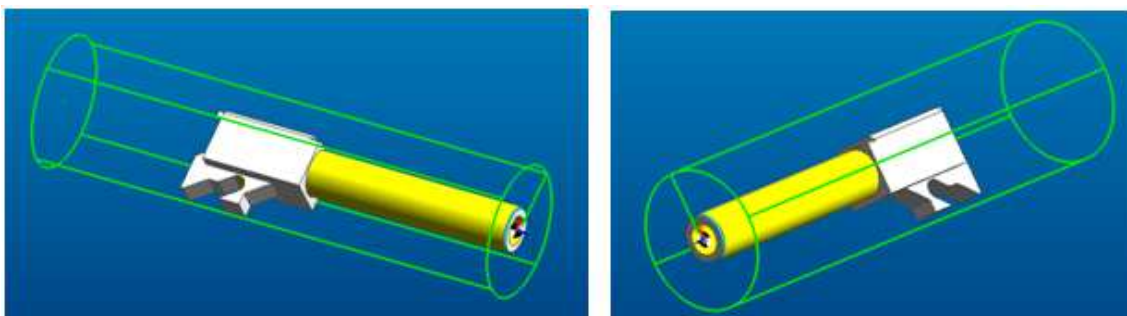
Polotovár o rozměrech  $\varnothing 40 \times 180$  mm z materiálu dřevo s počátkem posunutým o 1 mm v ose z. Jedná se o přídavek na obrábění čela.

### 3.2 Tvorba obráběcího programu – Strana první

Při tvorbě obráběcího programu je brán zřetel na několik zásadních faktorů, které evidentně mohou ovlivnit celý výsledek. Mezi elementární segmenty, na které je nezbytně nutno se zaměřit patří: vhodná volba obráběcích cyklů, souslednost

operací, strojní časy výrobních i nevýrobních procesů, životnost nástrojů, sériovost výroby, atd.

V tomto případě byly zvoleny následující strategie obrábění. Primárně se bude soustružit. Tímto výrobním procesem obrábění odstraníme maximum materiálu a získáme tak elementární konturu součásti. Druhou fází výrobního procesu je vrtací cyklus. Konečnou fází výroby je frézování finálního tvaru nejprve hrubováním a následně tzv. na čisto. Pro dosažení optimálního efektu, je nutno uvést skutečnost, že součást bude obráběna z obou stran. Po dokončení první strany, bude použita funkce upichování. Dále následuje výrobní proces upnutí součásti za obrobený válcový segment a následně obrobení druhé strany. Na procesní dokončení této partie součásti byl zvolen výrobní úkon frézování a vrtání.



Obrázek 7 - Ustavení modelu

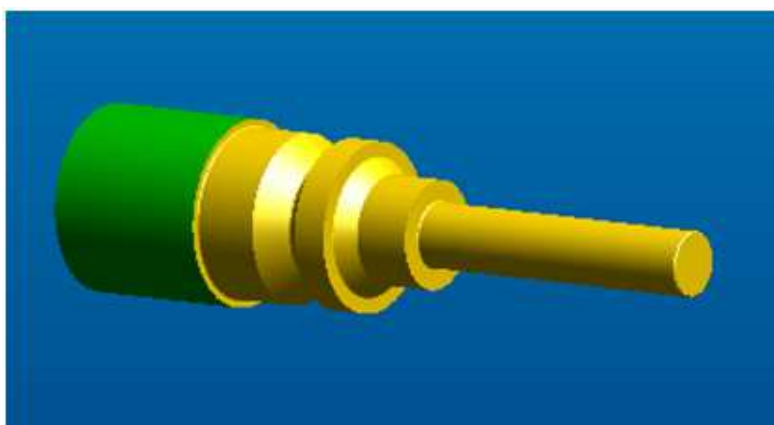
### 3.2.1 Soustružení

Výrobní proces „soustružení“ v tomto případě je aplikován pro více funkcí. První z nich bylo obrobít polotovar na specifikovaný profil, a to rychle a efektivně. Tím se optimalizuje zatížení dalších nástrojů, které již nebudou muset ubírat značné množství materiálu (hrubovat). Tímto zvoleným procesem se efektivněji využije strojní čas a následně se výrazně celý proces finančně zohlední. Druhou funkcí soustružení je finalizace celé dokončovací operace (tzv. na čisto) na předním segmentu výrobku.

Dráha nástroje je produkována výrobní operací s názvem „Hrubování na profil“. První krok je efektivně vybrat profil obrábění, následováno nezbytným nastavením počátečního a koncového bodu obráběcího cyklu. Tato část může být při výrobním procesu i vynechána, a to v případě, že program automaticky sám dráhy zvolí

správně. Profilem obrábění je dána kontura modelu rotačního charakteru a určena osou otáčení Z. Volbu požadovaného profilu umožní funkce „Rozpoznání útvaru“.

Produkčně byla následně zvolena soustružnická operace „Hrubování pravoúhlé“, na tento výrobní proces je kontinuálně navázáno „Hrubování na profil“, které dokonale umožňuje technicky prokreslit celou konturu součásti. Finální výrobní operací v tomto cyklu je „Dokončení dle profilu“. Tímto procesem je dokončena válcová část hlavně a čelo.



Obrázek 8 - Soustružení

| Technologické hodnoty operace - hrubování |          |           |
|---|----------|-----------|
| Nástroj                                   |          | nůž pravý |
| Posuv na otáčku                           | [mm/ot]  | 0,15      |
| Řezná rychlost                            | [mm/min] | 150       |
| Otáčky                                    | [ot/min] |           |
| Hloubka řezu                              | [mm]     | 1         |
| Přídavek v ose Z                          | [mm]     | 0,2       |
| Přídavek v ose X                          | [mm]     | 0,2       |

Tabulka 1- Soustružení - hrubování

| Technologické hodnoty operace - na čisto |          |           |
|--|----------|-----------|
| Nástroj                                  |          | nůž pravý |
| Posuv na otáčku                          | [mm/ot]  | 0,08      |
| Řezná rychlost                           | [mm/min] | 150       |
| Otáčky                                   | [ot/min] |           |

Tabulka 2 - Soustružení – na čisto

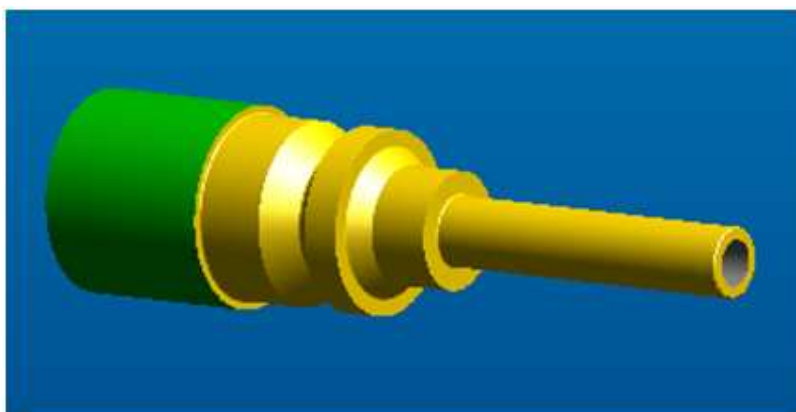
### 3.2.2 Vrtání hlavně

Pro vrtání samotné hlavně byly definovány dva nástroje a dvě výrobní operace. První z nich je navrtání otvoru středícím navrtávkem. Druhá operace je již samotný vrtací

cyklus, který z důvodu povahy a specifičnosti výrobku není proveden celý. Pozitivní zjištění bylo, že program umožňuje provést celý vývrt. Postačuje pouze změnit hloubku vrtání a použít jiný nástroj.

Pro úplnost a následnou funkčnost celého výrobku, je nutno ještě provést drážkování uvnitř hlavně.

Vzhledem k tomu, že otvor se nachází v ose otáčení, byl pro technická specifikata zvolen obráběcí cyklus v kategorii soustružení „Obrábění děr“.



Obrázek 9 - Vrtání

| Technologické hodnoty operace - vrtání |          |                     |
|--|----------|---------------------|
| Nástroj                                |          | navrtávák Ø 2,15 mm |
| Posuv na otáčku                        | [mm/ot]  | 0,05                |
| Otáčky                                 | [ot/min] | 3000                |
| Hloubka řezu                           | [mm]     | 2                   |

Tabulka 3 - Vrtání – navrtání otvoru

| Technologické hodnoty operace - vrtání |          |              |
|--|----------|--------------|
| Nástroj                                |          | vrták Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku                        | [mm/ot]  | 0,03         |
| Otáčky                                 | [ot/min] | 1500         |
| Hloubka řezu                           | [mm]     | 15           |

Tabulka 4 - Vrtání – vrtání otvoru Ø8mm



### 3.2.3 Frézování tvaru hrubováním

Jak je evidentní z 3D modelu součásti, hlavní a důležité frézované tvary jsou stěny navzájem na sebe kolmé. Výjimku tvoří spodní strana, na které je specifický tvar a při výrobě bude nutno této části věnovat větší pozornost a odborný dohled.

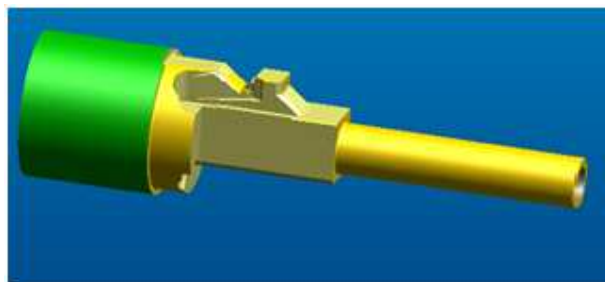
Nejprve bude nutno vytvořit první 3 relativně jednodušší strany. Pro definici tvaru a volbě pracovní roviny používáme v sekci DESIGN - Geometrie funkci „Nová rovina CPL“. Pomocí této roviny jsme byli schopni přesně limitovat tvar, jenž chceme následně obrábět. Je možno, zde též obrábět i složitější útvary, viz. spodní strana. Novou rovinu CPL je možno zvolit dle profilu, který je požadován. V naší konkrétní studii bude vycházeno z těchto 3 body – frézovací rovina – 3D souřadný systém“. Též je možno přesně definovat určení počátku. Při výrobním procesu se ukázala nutnost změnit počátek systému. A to z těchto konkrétních důvodů: 1) Naprosto přesně je vidět, kde se momentálně program pohybuje. 2) Není tudíž nutno dopočítávat žádné další rozměry a parametry.

Zde je uveden typový příklad postupu při výrobním procesu jedné strany. Pro ostatní je proces produkce analogický.

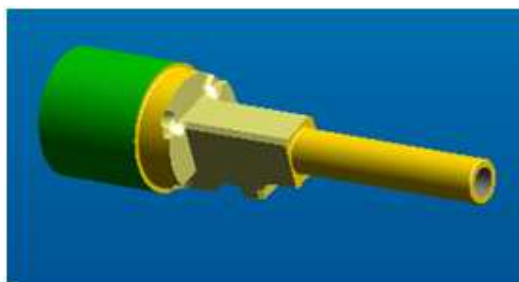
Dalším segmentem, který je bezprostředně nutno před vytvářením programu definovat je „určit útvar plochy“. Díky tomu je možno přesně specifikovat celý tvar ve 3D a tím pádem obrobit i konstrukčně složitější tvary i lépe ochránit navazující plochy, a tím pádem výrazně zrychlit celý výrobní proces.

Typový příklad frézování složitějšího tvaru.

Pro jednotlivé strany bylo tak za použití frézovacích cyklů a funkcí „Řádkování“ a „Polohovat k rovině CPL“ dokončeno obrábění. Strana 1 a 2 načisto, strany 3 a 4 byly pouze hrubovacím cyklem připraveny k dalším dílčím operacím.



Obrázek 10 - Frézování tvaru - Hrubování



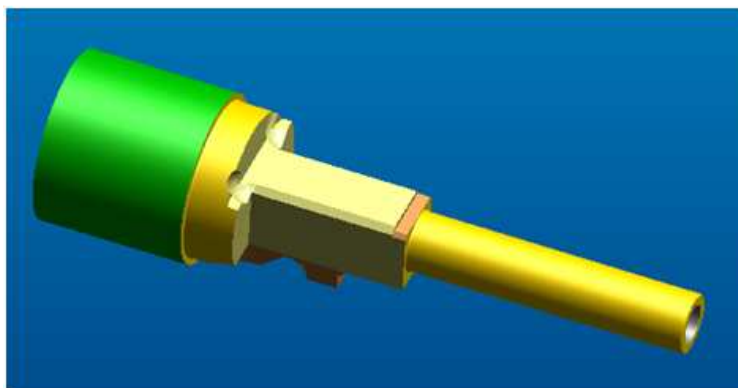
Obrázek 11 - Frézování tvaru – Dokončení str. 1 a 2

| Technologické hodnoty operace - hrubování |                      |      |
|---|----------------------|------|
| Nástroj                                   | válcová fréza Ø 8 mm |      |
| Posuv na otáčku                           | [mm/min]             | 150  |
| Otáčky                                    | [ot/min]             | 2000 |
| Hloubka řezu                              | [mm]                 | 1,5  |
| Přídavek v r. XY                          | [mm]                 | 1    |

Tabulka 5 - Frézování tvaru - hrubování

### 3.2.4 Dokončovací operace strany 3

Pro dokončení dlouhých šikmých ploch bylo opět zvoleno „Řádkování“ a „Polohovat k rovině CPL“. Avšak pro výrobu malého pravoúhlého vybrání na téže straně obrobku byla zvolena jiná metoda. Zde bylo potřeba ochránit plochy, které na vybrání navazují, proto zde z ergonomického hlediska lépe vyhovuje funkce „Podle profilu (2D)“. Následné dva krátké úkoly, které navazují s vybráním, byly obrobny stejnou metodou. Nejprve „Polohovat k rovině CPL“ a pak „Podle profilu (2D)“. Funkce „Podle profilu (2D) – zde bylo možno přesně vymezit nebo limitovat hranu, která rozdělovala axiální a radiální rovinu. Nespornou výhodou je, že nástroj přímo kopíruje definovanou hranu. Tím je dostatečně zajištěno, že nemůže nastat poškození navazujících ploch či tvarů. Analogicky lze tento postup uplatnit i při obrábění ostatních tvarů. V této fázi jsou všechny tři plochy již obrobny tzv. na čisto.

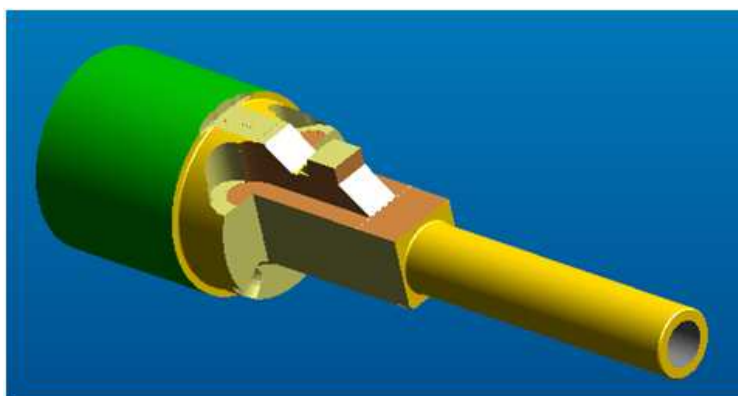


Obrázek 12 - Frézování tvaru – Dokončení str. 3

### 3.2.5 Dokončovací operace strany 4

Poslední strana, která při primárním úhlu pohledu, vypadala jako nejsložitější, vzhledem k tvaru, z principu výrobního procesu zdaleka nebyla tak časově náročná. Již v předchozích sekvencích bylo provedeno vyhrubování základního profilu, a to právě, v momentech, kdy požadovaný nástroj setrval v pracovní pozici. Finální tvar byl dokončen za použití funkce „polohovat k rovině CPL“ a také funkce „Podle profilu 2D“. Tyto dvě funkce a definování bodů rovin plně postačovaly na to, aby válcová fréza vyhrubovaný tvar začistila a byl tak získán požadovaný tvar.

Je zde nutno však upozornit na skutečnost, že tvar nezískal ještě plně svoji specifikovanou podobu. Hlavním důvodem je to, že se nepodařilo vnitřní kulovou plochu dokončit naprosto přesně. Dokončovací operace bude proto provedena při opracovávání dílce z druhé strany.



Obrázek 13 - Frézování tvaru – Dokončení str. 4

| Technologické hodnoty operace - na čisto |          |                      |
|--|----------|----------------------|
| Nástroj                                  |          | válcová fréza Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku                          | [mm/min] | 150                  |
| Otáčky                                   | [ot/min] | 2500                 |
| Hloubka řezu                             | [mm]     | 1                    |
| Přídavek v r. XY                         | [mm]     | 0                    |

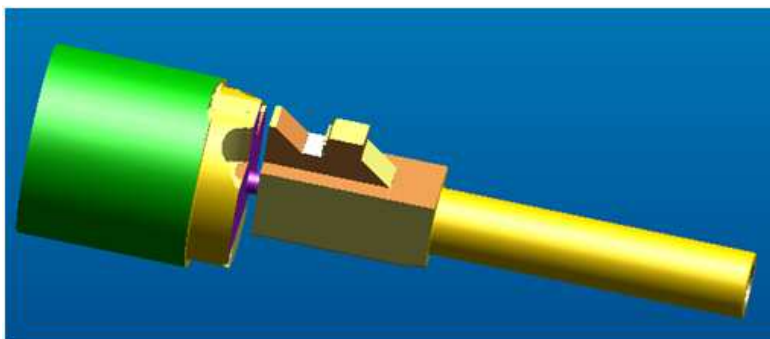
Tabulka 6 - Frézování tvaru – dokončovací operace str. 3 a 4.

### 3.2.6 Upíchnutí polotovaru

V tento moment je posledním obráběcím úkonem na straně 1 oddělit výrobek (upíchnutí) od materiálu umístěného v upínacím zařízení (sklíčidle). Vzhledem k této, na první pohled banální operaci, bylo nutno se nad celým procesem zamyslet a technicky vyhodnotit možná rizika, co by mohlo nastat při kompletním upíchnutí. Zejména proto, že výrobek v tuto chvíli již není symetrický, ale excentrický. Po pečlivém uvážení všech možných okolností, bylo více než evidentní, že při kompletním upíchnutí a i k velikosti otáček sklíčidla, v daném momentu, skoro bezpečně může dojít k vymrštění výrobku naprosto nekontrolovatelně do prostoru stroje a jeho blízkého okolí. Tím by mohlo vzniknout možné poškození stroje, nástroje. A v neposlední řadě také i samotného finálního produktu.

Vzhledem k celkovému rozsahu uvedených závažných skutečností, se naprosto zřetelně ukázalo, že bude nutno ponechat při upichování dostatečný přídavek, a to takový, že bude zaručeno zcela bezpečné odebrání výrobku z obráběcího prostoru. Na druhé straně je nutno uvážit, že přídavek nesmí být příliš velký resp. jen takový, aby jej stranový nůž při zarovnání druhé strany byl schopen bez větších problémů eliminovat.

Problém byl technicky vyřešen a přídavek byl následně nastaven na 4 mm. Toto řešení se ukázalo, jako dokonale vyhovující pro tuto kusovou výrobu a danou problematiku.



Obrázek 14 - Upichování

| Technologické hodnoty operace - upichování |          |                      |  |
|--|----------|----------------------|--|
| Nástroj                                    |          | nůž upichovací pravý |  |
| Posuv na otáčku                            | [mm/ot]  | 0,05                 |  |
| Otáčky                                     | [ot/min] | 800                  |  |
| Přídavek v ose X                           | [mm]     | 2,5                  |  |

Tabulka 7- Upichování

### 3.2.7 Měření polohování obrobku

Před samotným přestavením obrobku a jeho ustavením z druhé strany bylo nutno ještě stanovit přesnou polohu obrobku resp. tvarových ploch k nulové poloze nástroje – fréze.

Pro tuto činnost bylo použito měřicí sondy, kterou byl přesně změřen a definován úhel natočení rovinných ploch vůči nástroji. Odečtené hodnoty byly následně zaneseny do tabulky určující polohu obrobku a nástroje. Tím byla zaručena správná a bezchybná poloha již obrobených ploch z první strany.



Obrázek 15- Ustavení modelu – měření polohy

### 3.3 Tvorba obráběcího programu – Strana druhá

#### 3.3.1 Ustavení hlavně do referenční polohy

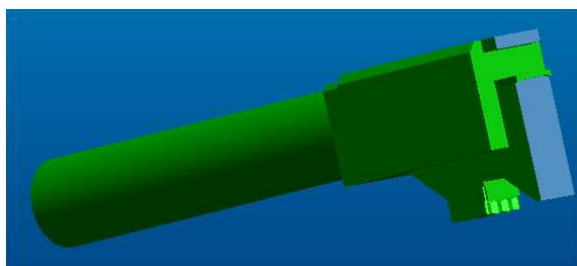
Poslední úkon před odepnutím obrobku bylo měření polohy. Při ustavování druhé strany byly použity parametry a hlaveň byla napolohována do požadované roviny. Dalším procesním krokem bylo nastavení správného vysunutí z čelistí, do bezpečné pracovní vzdálenosti.

Poslední moment patřil pečlivé kontrole všech nástrojů, které připadaly do úvahy a byly potřebné ke zhotovení dílce.

#### 3.3.2 Dokončovací operace čela

Primárně bylo provedeno zarovnání čela na finální rozměr a také pro přípravu na vrtání otvoru pro náboj. Pro tuto operaci byla použita funkce „Rovinný/rotační režim: Rovina“ Nástroj – válcová fréza 8 čelně obrábí dvě plochy a dotváří konečný tvar.

Následoval příkaz rychloposuvu do výměny nástrojů a volba válcové frézy 4. Tento nástroj dokončil tvarovou plochu ve tvaru „U“ na čele výrobku za pomoci funkce „Podle profilu (2D)“. Tímto byly dokončeny veškeré rovinné plochy na čele výrobku a celkově i na součásti.



Obrázek 16 - Frézování tvaru – dokončovací operace čela

| Technologické hodnoty operace - na čisto |                      |
|--|----------------------|
| Nástroj                                  | válcová fréza Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku [mm/min]                 | 150                  |
| Otáčky [ot/min]                          | 2500                 |
| Hloubka řezu [mm]                        | 1                    |
| Přídavek v r. XY [mm]                    | 0                    |

Tabulka 8 - Frézování tvaru – dokončení čela

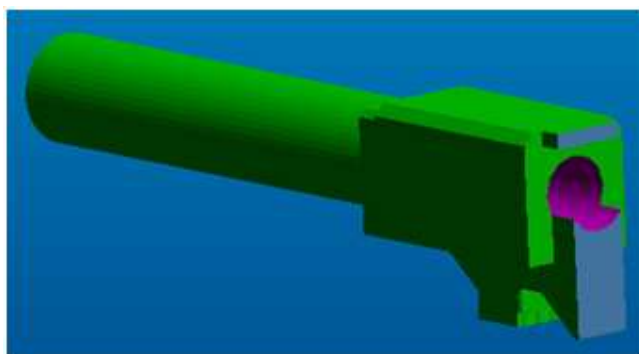
### 3.3.3 Dokončovací operace vrtání a hloubení otvoru

Jak již bylo uvedeno v odstavci o vrtání, není otvor průchozí, i když funkčnost výrobku toto bezpochyby vyžaduje. Vrtání bylo provedeno pouze do určité délky a z tohoto důvodu bylo nutno přistoupit k vrtání z druhé strany znovu.

Pro tuto operaci byl zvolen obráběcí cyklus v kategorii soustružení „Obrábění děr“. Nejprve však byl dílec navrtán a následně bylo provedeno výše zmíněné vrtání.

Kdybychom vyráběli funkční výrobek nikoli maketu, bylo by vrtání provedeno už jako kompletní operace při vrtání z první strany. Tím bychom pochopitelně zkrátili celý cyklus výroby a také uspořili zdroje, které jsou kalkulovány na výrobu součástí.

Pro kompletnost výrobního procesu otvoru bylo použito válcové frézy, jejímž cílem bylo zvětšení otvoru na konci hlavně. Pro tuto operaci byla použita funkce „Podle profilu (2D)“ a sdruženými kruhovými pohyby ve 2 osách bylo dosaženo zvětšení vnitřního otvoru na požadovaný finální rozměr.



Obrázek 17 - Dokončovací operace vrtání a hloubení otvoru

| Technologické hodnoty operace - vrtání |                     |
|--|---------------------|
| Nástroj                                | navrtávák Ø 2,15 mm |
| Posuv na otáčku [mm/ot]                | 0,05                |
| Otáčky [ot/min]                        | 3000                |
| Hloubka řezu [mm]                      | 2                   |

Tabulka 9 - Vrtání – navrtání otvoru

| Technologické hodnoty operace - vrtání |              |
|--|--------------|
| Nástroj                                | vrták Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku [mm/ot]                | 0,03         |
| Otáčky [ot/min]                        | 1500         |
| Hloubka řezu [mm]                      | 15           |

Tabulka 10 - Vrtání – vrtání otvoru

| Technologické hodnoty operace - na čisto |                      |
|--|----------------------|
| Nástroj                                  | válcová fréza Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku [mm/min]                 | 150                  |
| Otáčky [ot/min]                          | 2500                 |
| Hloubka řezu [mm]                        | 1                    |
| Přídavek v r. XY [mm]                    | 0                    |

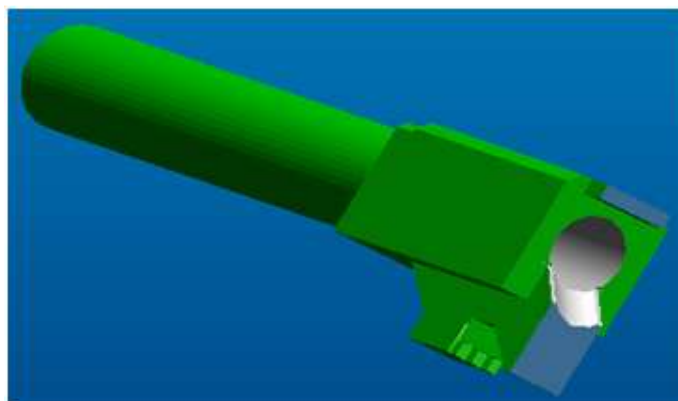
Tabulka 11 - Frézování tvaru – hloubení otvoru

### 3.3.4 Dokončovací operace šikmá půlkulatá plocha

Předposlední operace byla dokončení půlkulaté šikmé plochy, která ústí do otvoru hlavně. Tvarová přesnost u této technické problematiky byla velmi důležitá, a to především, protože právě tudy je dopravován náboj do hlavně a v žádném případě nesmí zde dojít ke vzpříčení či zaseknutí nebo k jinému technologickému problému.

Přestože pro tuto operaci bylo použito stejného nástroje, jako v předchozím případě, bylo nutno poslat nástroj do referenčního bodu. Vyžadovala toto použitá funkce „Polohovat nástroj kolmo k CPL“. Tímto bylo dosaženo vyrovnání nástroje k rovině obrábění. Následoval další příkaz a to funkce „Podle profilu (2D)“. Druhý příkaz neboli obráběcí funkce umožnila vytvoření výše zmíněného tvaru válcovou částí frézy.





Obrázek 18- Dokončovací operace šikmá půlkulatá plocha

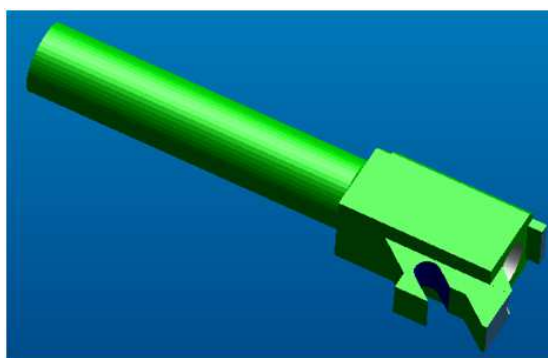
| Technologické hodnoty operace - na čisto |          |                      |
|--|----------|----------------------|
| Nástroj                                  |          | válcová fréza Ø 8 mm |
| Posuv na otáčku                          | [mm/min] | 150                  |
| Otáčky                                   | [ot/min] | 2500                 |
| Hloubka řezu                             | [mm]     | 1                    |
| Přídavek v r. XY                         | [mm]     | 0                    |

Tabulka 12 - Frézování tvaru – šikmá půlkulatá plocha

### 3.3.5 Dokončovací operace strany jedna – drážka

Naprostou poslední obráběcí operací bylo dokončení kulaté drážky, která zbyla ze strany jedna. Tato operace byla již zmíněna na konci obrábění strany jedna.

Pro tuto operaci byl použit nástroj „kulová fréza“ a uplatněna funkce „Polohovat nástroj kolmo k CPL“. Následná funkce „Drážka“ umožnila dokončení vyhrubované drážky na požadovaný tvar a hloubku. Celý výrobní proces byl rozdělen do tří řezných segmentů.



Obrázek 19 - Dokončovací operace strany jedna – drážka

| Technologické hodnoty operace - na čisto |          |                     |
|--|----------|---------------------|
| Nástroj                                  |          | kulová fréza Ø 5 mm |
| Posuv na otáčku                          | [mm/min] | 150                 |
| Otáčky                                   | [ot/min] | 2000                |
| Hloubka řezu                             | [mm]     | 1,5                 |
| Přídavek v r. XY                         | [mm]     | 0                   |

Tabulka 13 - Frézování tvaru – dokončení drážky

### 3.4 Simulace obrábění

Pro ověření správnosti veškerých činností stroje a nástroje, dále pak návaznosti obráběcích cyklů a dalších úkonů spojených s výrobou samotnou, bylo nutno provést simulaci vytvořeného procesu techniky obrábění.

Před samotným spuštěním simulace, byly nastaveny veškeré nezbytně nutné prvky znázorňující kolize a případné chyby v programu vedoucí k poškození soustavy „stroj – nástroj – obrobek“.

Simulace bylo odhaleno několik zbytečných pohybů nástroje v modu rychloposuvu a také byly překonfigurovány parametry obráběcích cyklů. S ohledem na to, aby obrábění bylo v ergonomické rovině rychlejší, efektivnější a s pozitivním dopadem na celkovou progresivní ekonomiku procesu.

Po této pečlivé korekci již nic nebrání tomu, aby byl vygenerován NC kód použitelný pro stroj MAZAK INTEGREX IV-100.

## **4 Výroba součásti**

### **4.1 Úvod**

K výrobě součásti byl zvolen materiál, nejlépe vyhovující umělé dřevo. Pro výrobu z umělého dřeva není možno používat chladicí kapalinu, a to z důvodu, že dřevo absorbuje tuto látku. Díky této vlastnosti by se stal výsledný produkt zcela nepoužitelný pro další experiment.

Ještě před samotným spuštěním obráběcího procesu bylo nutno ověřit správnost obráběcího procesu simulací přímo na stroji v řídicím systému MAZATROL Matrix.

K tomu je nutno přesně definovat rozměry polotovaru a druh materiálu. Následuje vybrání a nahrání již vygenerovaného NC kódu.

Při tomto posledním testu se vyskytly problémy při simulaci a kritické chyby, se kterými si řídicí systém stroje nebyl schopen poradit.

V tomto případě bylo nutno postprocesor systému EdgeCam upravit tak, aby řídicí systém stroje zpracoval NC kód správně a byl schopen vyrobit součástku korektně.

Po odstranění veškerých dodatečných chyb, je již patrné, že nic nebrání přistoupit k výrobě samotné.

Nalezené chyby v postprocesoru budou řešeny podrobně v kapitole 5

### **4.2 Nastavení stroje**

Jako první nezbytný úkon je určit nulový bod nástroje P a také nulový bod obrobku W, oba se určují za použití měřicí sondy viz. obrázky č. 20. Dále je nutno určit polohu nástrojové hlavy přejetím do referenčního bodu R, aby stroji MAZAK INTEGREX 100-IV byla přesně definovaná poloha používaných nástrojů v pracovním prostoru.



Obrázek 20 - měření polohy nulového bodu obrobku W a nástroje P

### 4.3 Výroba součástí

Během výroby součástí nedošlo již k žádným specifickým technologickým problémům a výroba proběhla bez jakýchkoliv dalších rizikových faktorů. Toto bylo splněno na obou stranách produkce.

Na přiložené fotodokumentaci jsou znázorněny jednotlivé výrobní etapy.

Z bezpečnostních důvodů byla dokumentace pořízena mezi výrobními cykly.



Obrázek 21 - Výroba součásti strana jedna – soustružení, frézování



Obrázek 22 - Výroba součásti strana jedna – frézování hrubovací a dokončovací operace



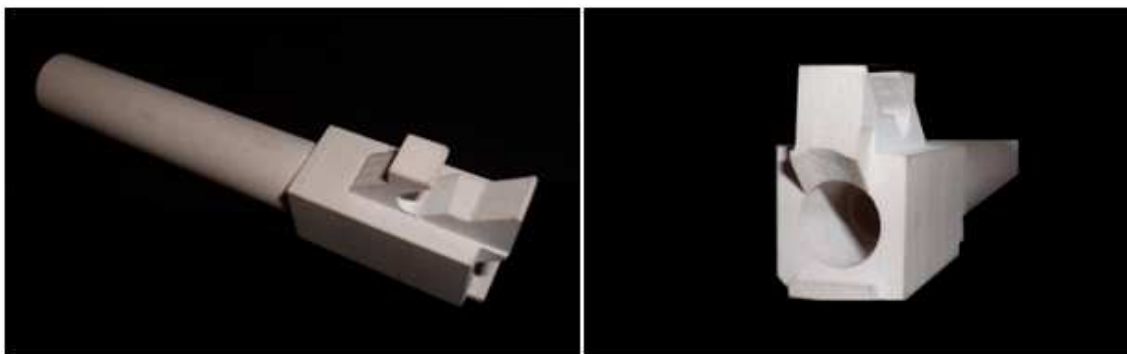
Obrázek 23 - Výroba součásti strana dva – frézování hrubovací a dokončovací operace

#### 4.4 Kontrola součásti

Při závěrečné kontrole vyrobené součásti bylo zjištěno několik závažných chyb, které při samotné výrobě nemohly být odhaleny.

Problémy byly zapříčiněny nedostatečně pevným upnutím součásti do obráběcí hlavy a to z důvodu obav o poškození válcové části výrobku.

Vzhledem k povaze produktu a nezbytným úpravám před samotnou výrobou a cílem této práce, nebyly tyto výrobní vady shledány jako zásadní a proto nebylo pracováno na jejím odstranění či jejich minimalizaci.



Obrázek 24 - Finální podoba výrobku - hlaveň

## 5 Postprocessor

### 5.1 Chyby v postprocesoru

Jak již bylo definováno v kapitole pojednávající o výrobě, byly zaznamenány závažné chyby v programu při simulaci na stroji. Tyto chyby nebylo možno odhalit dříve při pracovním procesu na PC v samotné tvorbě programu, jelikož vše se ukázalo až v momentu zakomponování do aktuální verze SW řídicího systému stroje. Tento systém je dán výrobcem a uživatel s tím již nic nezmůže. Případné chyby jsou "vlastnost" systému a je třeba se jim přizpůsobit. Postprocesor je pouze "překladač" vnitřní řeči EdgeCAMu do jazyka stroje a můžeme mu upravovat pouze pravidla překladu tak, aby došlo k vzájemnému souladu.

Tento program byl tvořen za období od 1.1.2012 do 31.8.2012. V průběhu této časové dimenze byl proveden update řídicího systému na stroji MAZAK INTEGREX 100-IV z původní verze SW ŘS stroje s označením 2012.11 na verzi 2012.12.

### 5.2 Chybové hlášení a jeho řešení

Chybová hláška číslo 1: Označení „943 Konvertuji v 3-D Souřadnicích“

Toto chybové hlášení přímo konverguje na velmi frekventovaně používanou funkci „Polohovat nástroj kolmo k CPL“. V exemplárním případě, že takto nebude nástroj polohován a je požadováno, pak vyvolat tuto funkci pokaždé znovu, pro obrábění další strany nebo jiné roviny např.: jak je uvedeno v tomto programu, je to technicky nemožné. Program není schopen 2x a vícekrát za sebou vyvolat tuto funkci bez předchozího vypnutí.

Řešení v tomto případě je překvapivě velmi triviální.

Před vyvoláním funkce „Polohovat nástroj kolmo k CPL“ je nezbytně nutno zadat příkaz „G68.5“ – zapnout vlastní polohovací rovinu.

Po ukončení obráběcího cyklu programátor je nucen opětovně tuto rovinu vypnout a to příkazem „G69.5“ – vypnout vlastní polohovací rovinu.

Ve zdrojovém kódu programu je přednastavena funkce „G68.5“ při volání funkce „Polohovat nástroj kolmo k CPL“. Ku podivu (vzhledem k technickým přednostem) schází vypnutí, tedy příkaz „G69.5“.

Ukázka programového kódu s ruční úpravou a v původním stavu.

```

...
N826 Y-18.894
N828 Y-23.894
N830 G0 Z15.
N832 G0 B90. C0.
      G53.5
N834 G68.5 X8.49 Y-6.38 Z-69. I0. J1. K0. R90.
N836 Z15.
N838 X-0.8 Y-8.9
N840 G1 Z7. F500.
N842 Y-3.9 F200.
...

...
N826 Y4.414
N828 Y-18.894
N830 Y-23.894
N832 G0 Z15.
N834 G69.5
N836 G0 B90. C0.
      G53.5
N838 G68.5 X8.49 Y-6.38 Z-69. I0. J1. K0. R90.
N840 Z15.
N842 X-0.8 Y-8.9
N844 G1 Z7. F500.
N846 Y-3.9 F200.
...

```

Obrázek 25 - Ukázka rozdílu v kódu

Úprava chyby v postprocesoru pro možné budoucí použití:

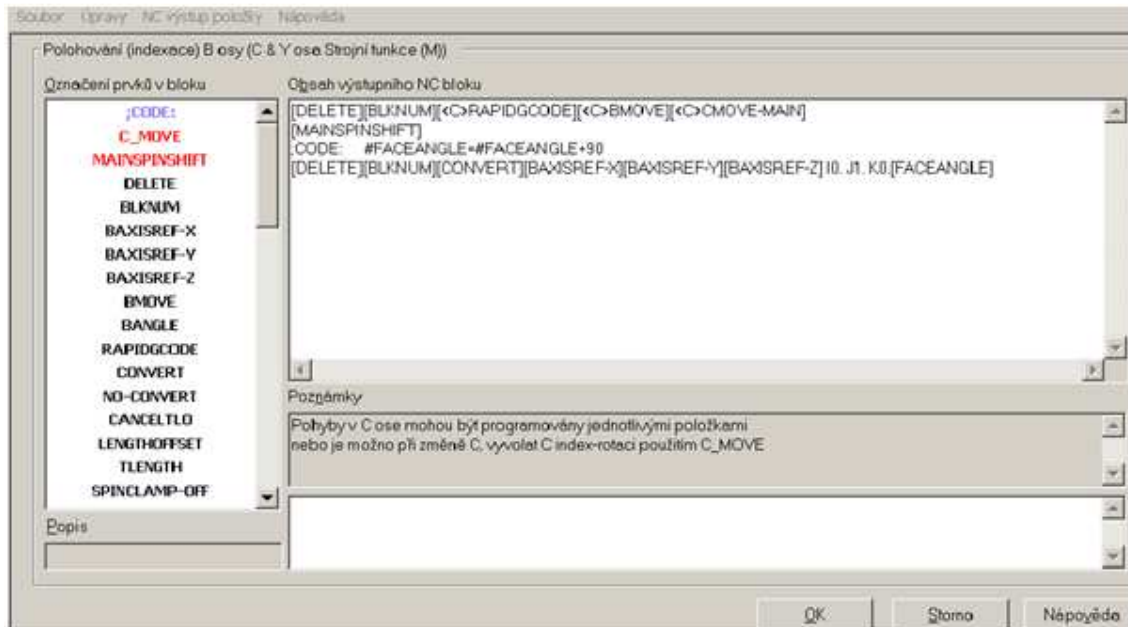
Pro to, aby se již tímto problémem nemuseli pracovníci v budoucnu zabývat, byla provedena úprava postprocesoru dle níže uvedených obrázků.

Obrázek číslo 22 ukazuje na standardní ukončení polohování nástroje k rovině CPL. Tedy pokud není potřeba polohovat nástroj v dalším kroku k další rovině CPL, je tento příkaz v pořádku. Není potřeba předchozí rovinu vypnout. Tedy příkaz „CConvert“ zůstává prázdný.

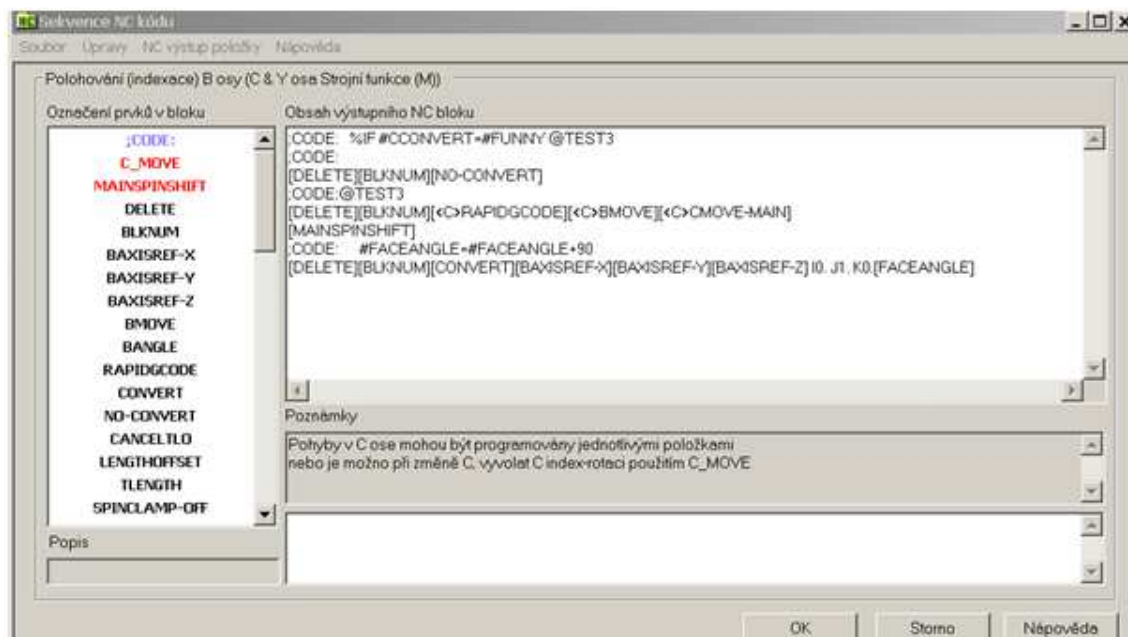
Nastává, ale problém v momentě, kdy je nutné vyvolat znovu polohování k již zmíněné rovině CPL. Zde je nutné před vyvoláním funkce „polohovat k rovině CPL“ vypnout předchozí polohování. To provedeme tak, že před poslední 4 řádky

v obrázku číslo 23 přidáme funkci „CConvert“ – pokud je plná, tj. je vyžadováno polohování. Po-té je nutno fci zase vypnout.

Následně program pracuje dle dalších standardních kroků.



Obrázek 26 - Postprocesor před úpravou



Obrázek 27 - Postprocesor po úpravě



Chybové hlášení číslo 2: „Reakce stroje mimo pracovní rozsah“

Tímto chybovým hlášením je stroji zabraňováno v posunu v záporných hodnotách, tzn. v ose x pohyb pod kladnou osou obrábění.

Výše popsáný problém, evokuje ještě větší nebezpečnost a to tím, že systém postprocesoru pouze upozorní na vzniklý problém, ale zásadně neukončí program. V minulém popsáném případě byl program ukončen, jakmile došlo k eliminaci chyby.

V tomto případě již není možno akceptovat pouze triviální transkripci programu. Na toto závažné chybové hlášení je bezpodmínečně nutno upozornit samotného výrobce a programátor je pak nucen pracovat s touto závažnou skutečností. Sekundárně je pak kladen důraz, event. počítat s případnou kolizí nástroje s obrobkem, a to i v případě, že sama obsluha neodhalí tento problém v dostatečném časovém předstihu.

V této složité technické specifikaci bylo přesto nalezeno vhodné alternativní řešení citované problematiky. V případě, že je potřebné definovat a zadat hodnoty, které by konvergovali k záporným limitám, pak v žádném případě nesmí programátor operovat v obecné rovině „XY“, ale je nutno okamžitě přepnout do modulu polárního souřadnicového systému „CX“. Prostřednictvím polárních souřadnic postprocesor stroje začne automaticky používat kladnou polorovinu „CX“.

## **6 Ekonomický dopad**

### **6.1 Úvod**

Každá činnost, které je přímo či nepřímo navázána na ergonomický proces s sebou nese přímo úměrné nároky na všechny zdroje, které jsou definovány při vstupu. Toto portfolio je v praxi obvykle ekonomicky přesně definováno a limitováno. Dle velikosti finančního nároku je pak následně s nimi disponováno, a to ve všech směrech. Chybné nebo neúplné řešení SW, v našem případě postprocesoru, sebou nese irelevantní dodatečné finanční náklady na opravu a korekci vytvořeného NC programu. Ve většině případů, jak vyplynulo z praxe, je možno vyřešit některé minimální nedostatky přímo s obsluhou stroje. Závažnější a procesní chyby pak již musí řešit osobně programátor. Což s sebou pochopitelně přináší daleko větší finanční zatížení.

Velmi závažný problém může nastat v případě, že nedojde k včasnému odhalení technických nesrovnalostí. Toto může v extrémních případech vést až ke kolizi nástroje s obrobkem. V tomto naléhavém případě přichází na řadu nutnost nezbytného servisního zásahu, který je mnohonásobně finančně náročnější než samotné odlaďování programu.

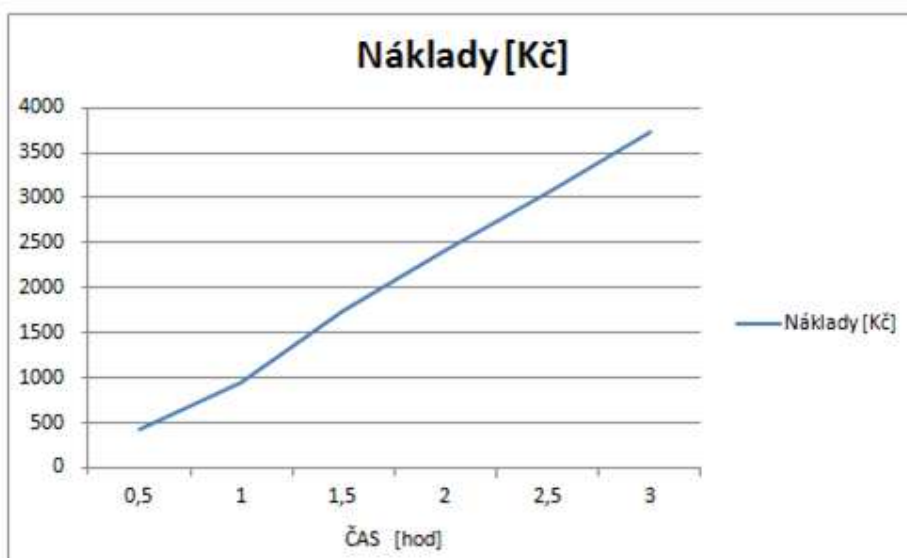
### **6.2 Odstraňování chyb obsluhou**

Dle dostupných informací získaných přímo z výrobního závodu, jasně vyplývá, že případů, kdy obsluha stroje musí řešit nesrovnalosti NC kódu vs. Postprocesor, se tato číselná definice pohybuje v řádu do 10%. U složitějších procesních případů, kdy je nutno zásahu samotného programátora, se procento chyb pohybuje v řádu 1% – 2%. Z toho závěru je zřetelně patrné, že stroje jsou na velmi vysoké technické úrovni a zkušený odborný pracovník dokáže optimalizovat proces výroby na takovou úroveň, že v konečných kalkulacích eliminuje výrobnímu závodu nemalé finanční ztráty.

Vezmeme-li v úvahu následující vstupní data, tak v tabulce č. 14 je patrná časová a finanční úspora při výrobě strojních součástí.

| Kalkulace nákladů                            |             |             |
|--|-------------|-------------|
| Výrobní čas                                  | [Kč/hod]    | 850         |
| Čas na přestavbu stroje                      | [hod]       | 0,5         |
| Ladění NC kódu - obsluha                     | [hod]       | 0,5         |
| Ladění NC kódu - programátor                 | [hod]       | 1           |
| Kalkulovaná cena - obsluha                   | [Kč/hod]    | 180         |
| Kalkulovaná cena - programátor               | [Kč/hod]    | 290         |
| <b>Náklady na přestavbu NC</b>               | <b>[Kč]</b> | <b>425</b>  |
| <b>Náklady na ladění NC kódu obsluha</b>     | <b>[Kč]</b> | <b>940</b>  |
| <b>Náklady na ladění NC kódu programátor</b> | <b>[Kč]</b> | <b>1746</b> |

Tabulka 14 - Ekonomický dopad – Kalkulace nákladů úprava postprocesoru



Graf 1 - Graf vývoje nákladů v čase – úprava postprocesoru

### 6.3 Servisní zásah

Pokud nastane ve výrobním procesu situace, že závažná technologická chyba není diagnostikována včas, může v extrémním případě dojít až k následné kolizi. To by pak v praxi znamenalo, že mohou vzniknout zcela rozhodující ekonomické ztráty, které by velmi negativně mohli ovlivnit celou ergonomickou a i ekonomickou situaci celého výrobního procesu. Zde je nutno podotknout, že komplexní finanční kalkulaci negativně ovlivní i každá hodina provozu, kdy stroj je z výrobního procesu vyčleněn (stroj je mimo provoz a tudíž nic neprodukuje - nevyrábí). Navíc je ještě nutno mezi regresivní náklady zahrnout další možné nákladové položky, jako je např. akutní výjezd servisního pracovníka dodavatelské či servisní firmy. V neposlední řadě též je

nutno započítat do záporných atributů i nemalé materiálové náklady potřebné k celkové revizi strojového parku (v přímé úměře závisí na rozsahu vzniklé škody).

Převezmeme-li data z prvního případu a přidáme-li oficiální ceníkové položky od servisní společnosti, získáme následující kalkulaci.

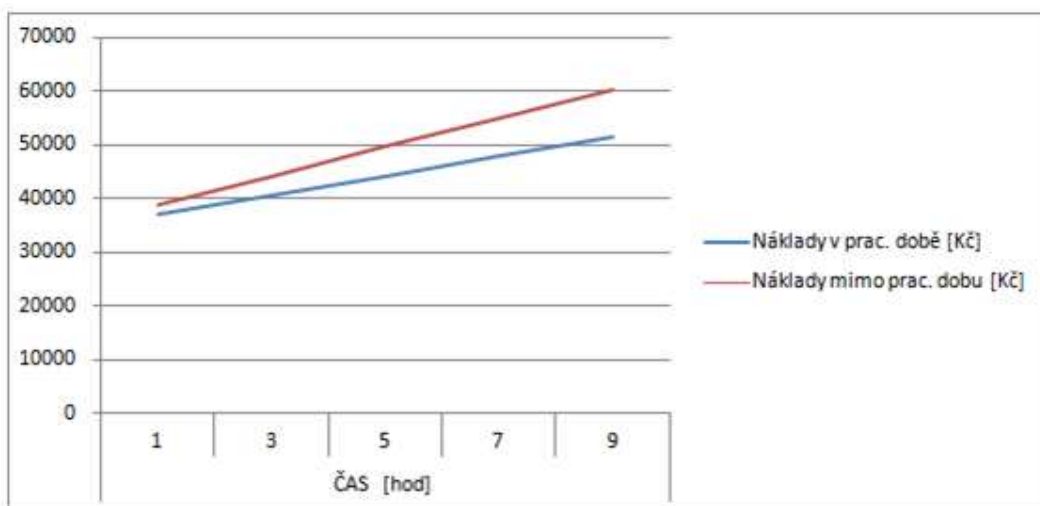
V Lysé nad Labem dne 15.8.2012

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Základní sazby platné v pracovní dny mezi 07:30 a 16:00</b>                             |               |
| • Základní hodinová sazba za provádění servisní činnosti                                   | 1800,- Kč/hod |
| • Základní hodinová sazba za čas strávený na cestě   | 900,- Kč/hod  |
| • Kilometrové  | 12,- Kč/km    |
| <b>Zvýšené sazby platné v pracovní dny od 16:00 do 07:30 a o sobotách</b>                  |               |
| • Zvýšená hodinová sazba za přesčasovou práci a práce o sobotách                           | 2700,- Kč/hod |
| • Zvýšená hodinová sazba za čas strávený na cestě o sobotách                               | 1350,- Kč/hod |
| • Kilometrové  | 12,- Kč/km    |
| <b>Zvýšené sazby platné o nedělích a ve státem uznaných svátcích</b>                       |               |
| • Zvýšená hodinová sazba za práci o nedělích a ve státem uznaných svátcích                 | 3600,- Kč/hod |
| • Zvýšená hodinová sazba za čas strávený na cestě o nedělích a ve státem uznaných svátcích | 1800,- Kč/hod |
| • Kilometrové  | 12,- Kč/km    |

Obrázek 28 - Oficiální ceník servisních zásahů

| Kalkulace nákladů - servisní zásah                         |             |              |
|--|-------------|--------------|
| Výrobní čas  | [Kč/hod]    | 850          |
| Čas na přestavbu stroje                                    | [hod]       | 0,5          |
| Ladění NC kódu - obsluha                                   | [hod]       | 0,5          |
| Ladění NC kódu - programátor                               | [hod]       | 1            |
| Kalkulovaná cena - obsluha                                 | [Kč/hod]    | 180          |
| Kalkulovaná cena - programátor                             | [Kč/hod]    | 290          |
| <b>Náklady na opravu NC - interní zdroje</b>               | <b>[Kč]</b> | <b>32960</b> |
| <b>Celkové náklady na opravu NC - s servisním zásahem*</b> | <b>[Kč]</b> | <b>49640</b> |

Tabulka 15 - Ekonomický dopad – Kalkulace nákladů servisní zásah



Graf 2- Graf vývoje nákladů v čase – servisní zásah

## 7 Závěr

Strategickým cílem této studie nebylo primárně vytvořit přesný technologický postup pro výrobu hlavně. Ani se zde nejednalo o jasné zefektivnění komplexního výrobního procesu, nebo o zdokonalení technologické specifikace při elementárních výrobních procesech firmy vlastníci licenci produkovat tuto součást. Progresivním cílem mé práce bylo zjistit a následně upozornit na možná rizika související s efektivitou u velké většiny výrobních operací, dále pak i při obráběcích cyklech. Důrazně pak poukázat na možné problémy, které jsou skrytou hrozbou v postprocesoru CAD/CAM systému. Při detailní depistáži možných technologických problémů mě velmi zajímala rizika spojená se vznikem možné chyby, alternativa řešení a celkový ekonomický dopad na odstraňování problémů.

Jak je ze studie patrné, tak základní profesní části a jednotlivé úkony byly prozkoumány, technické problémy následně vyřešeny.

Na první pohled se může zdát, že problémy s postprocesorem jsou banální a řešení triviální. Opak je však pravdou. Finální řešení je vskutku velmi jednoduché, ale procesní cesta k němu vyžadovala mnoho odborných zkušeností a konzultací s erudovanými odborníky v oblasti řízení a tvorby NC strojů.

Znázorněné finanční ukazatele jsou nezvratným důkazem toho, že kvalitní a zkušený pracovník znamená v klíčových situacích jistotu špičkově odvedených služeb a minimalizaci kolize nebo chyby ve výrobním procesu.

Pokud bych v závěru své práce měl analyzovat jedinou větu celý svůj záměr, pak by to bylo o tom, že: „Ani sebe dokonalejší stroj není schopen generovat bezchybné výsledky bez lidského mozku.“

## 8 Literatura

[1] Proč právě SolidWorks?. *Proč právě SolidWorks?* [online]. 2011, roč. 2012, č. 1, s. 1 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/proc-solidworks/>

[2] FOŘT, Petr, Tomáš MIKŠÍK a Pavel NOVÁK. Když se řekne PLM: PLM. *Když se řekne PLM* [online]. 2006, roč. 2012, č. 2, s. 1 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/plm/kdyz-se-rekne-plm.htm>

[3] INTEGRER® MARK IV SERIES. *INTEGRER® MARK IV SERIES* [online]. 2012, roč. 2012, č. 3, s. 1 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: <http://www.mazakusa.com/productpage.asp?Ingequipid=7>

[4] Edgecam - Standard pro inteligentní obrábění Solid modelů. *Edgecam - Standard pro inteligentní obrábění Solid modelů* [online]. 2012, roč. 2012, č. 4, s. 1 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: <http://www.edgcamcz.cz/>

[5] KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek, 2.část. *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek, 2.část.* [PDF]. 2005, roč. 2012, č. 5, s. 52 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf)

## 9 Přílohy

- 1) Model hlavně zbraně ve formátu \*.stp, \*.igs
- 2) Obráběcí strategie ve CAM systému EdgeCAM
- 3) NC kód pro obrábění na stroji MAZAK INTEGREX 100-IV
- 4) Video – simulace obrábění